

УДК 681.3



О. О. Морозов

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ І РЕМОНТУ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

Розглянуто методику визначення параметрів системи технічного обслуговування і ремонту територіально розосередженого парку технічних систем. Алгоритм розв'язання шуканої задачі ґрунтується на техніко-економічному підході та триетапній процедурі, що дозволяє розв'язувати задачі великої розмірності.

К л ю ч о в і с л о в а: технічне обслуговування і ремонт, система технічного обслуговування і ремонту, технічні системи, зони обслуговування, територіально розосереджений парк технічних систем, орган технічного обслуговування і ремонту

Постановка проблеми. Забезпечення ефективної експлуатації територіально розосередженого парку технічних систем (ТСс), представленого певною номенклатурою та кількістю зразків техніки, вимагає своєчасного технічного обслуговування і ремонту (ТОР). Це, у свою чергу, потребує створення відповідних систем ТОР (СТОР).

Різноманіття зразків ТСс, їх відмінність в експлуатаційних характеристиках, різні методи й засоби гнучких ТОР, складність завдань збирання, обробки й передачі інформації про технічний стан (ТС) зразків техніки вимагають системного підходу до розроблення СТОР, зниження розмірності таких задач шляхом декомпозиції на підзадачі, використанням багатомодельного підходу з об'єднанням часткових моделей в єдиному ієрархічному комплексі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз публікацій із питань побудови й функціонування СТОР для обслуговування і ремонту парків технічних систем і досвіду розробників та експлуатаційних організацій дозволяє визначити такі параметри СТОР, значення яких найбільшою мірою визначають ефективність функціонування ТСс. Це кількість і місця розташування органів ТОР (ОТОР); типи і кількість бригад обслуговуючого персоналу кожного типу в складі ОТОР; розподіл різних зразків техніки, що потребують ТОР, між рівнями СТОР; параметри стратегій функціонування елементів СТОР: дисципліна обслуговування заявок на ТОР, засоби й порядок доставки ЗІПу тощо [1–3].

З огляду на вимоги до СТОР парків технічних систем, територіальну розосередженість елементів системи, і передусім її органів ТОР, види, обсягів і складність робіт із ТОР таку систему можна віднести до складної організаційно-технічної системи [4, 5].

Аналіз наукових джерел показує, що сьогодні накопичено достатню науково-методичну базу створення таких систем [6–8]. Переважна більшість праць спрямована на вирішенні завдань синтезу їх топологічної та (або) функціональної структури. При цьому більшість запропонованих методів розв'язання шуканої задачі дозволяють отримувати результати для задач малої розмірності й за умови, що змінні, як правило, є однорідними (дискретними або безперервними) [5, 9, 10]. Відмінність задачі, що розглядається, полягає, по-перше, у необхідності визначення і топологічної, і функціональної структури СТОР, по-друге, у великій розмірності задачі, обумовленій багатьма чинниками, що впливають на ефективність вирішення завдань із ТОР, по-третє, у різноманітності змінних, по-четверте, у великій кількості обмежень і припущень, які треба накладати в процесі розв'язання задачі. Для подолання зазначених складнощів необхідно здійснювати декомпозицію задачі визначення параметрів СТОР парку технічних систем на ряд підзадач, здійснити їх формальне представлення і визначити методичні аспекти її розв'язання.

Метою статті є формалізація задачі визначення параметрів СТОР як складної організаційно-технічної системи і визначення методичного підходу до її розв'язання.

© О. О. Морозов, 2018

Виклад основного матеріалу. У загальному випадку задача визначення параметрів СТОР може бути представлена взаємопов'язаними і залежними підзадачами трьох рівнів.

На першому рівні доцільно проводити моделювання процесів зміни технічного стану зразків ТСс і формування заявок на ТОР. Заявки на ТОР мають формуватися таким чином, щоб оптимізувати показники надійності (готовності) технічних систем і (або) витрати на їх експлуатацію.

На другому рівні з урахуванням сформованих заявок необхідно моделювати процеси функціонування елементів СТОР, оптимізувати показники готовності ТСс і експлуатаційні витрати за рахунок вибору топології СТОР і стратегій функціонування її елементів, а також за рахунок оптимального розподілу завдань із ТОР за рівнями й елементами системи.

На третьому рівні слід розраховувати і мінімізувати зведені капітальні витрати на побудову СТОР і експлуатаційні витрати для різних варіантів її побудови, різних способів розподілу завдань із ТОР зразків ТСс за рівнями й елементами системи для прийняття рішень про значення параметрів ТОР.

Для реалізації викладеного підходу в [3, 6] розроблено моделі й методи розв'язання задач усіх трьох рівнів.

Розв'язання задач першого рівня можна здійснювати з використанням моделі випадкового процесу, що регенерує.

Моделлю процесу зміни технічного стану зразка ТСс, яка обслуговується, є випадковий процес із точками регенерації в моменти завершення технічного обслуговування. Співвідношення для розрахунку таких показників якості функціонування зразка ТСс, як коефіцієнт готовності K_r , коефіцієнт оперативної готовності $K_{ог}(\tau)$ і середніх питомих витрат на експлуатацію C_E подаються у вигляді [11]:

$$K_r = \frac{\int_0^{\infty} R(t, T) dt}{T + \bar{\tau}_{ТО}}, \quad (1)$$

$$K_{ог} = \frac{\int_0^{\infty} (t, T) P(t, T) dt}{T + \bar{\tau}_{ТО}}, \quad (2)$$

$$C_E = \frac{\left[T - \int_0^{\infty} R(t, T) dt \right] + C_{ТО} \bar{\tau}_{ТО}}{\int_0^{\infty} R(t, T) dt}, \quad (3)$$

де $R(t, T)$ – додаткова функція розподілу сумарного часу безвідмовної роботи зразків ТСс за період між сусідніми ТО; T – період ТО; $\bar{\tau}_{ТО}$ – середня тривалість ТО; $P(t, T)$ – імовірність того, що зразок ТСс безвідмовно пропрацює протягом часу τ , починаючи з моменту, коли сумарний час від безвідмовної роботи на інтервалі між сусідніми ТО дорівнюватиме t ; $C_{рем}$, $C_{ТО}$ – витрати в одиницю часу на ремонт і ТО відповідно.

Відмінність запропонованої моделі від відомих полягає в тому, що величина періоду ТО обчислюється тут в одиницях календарного часу, а не в одиницях наробітку, що дозволяє досліджувати найпридатніші у практичному аспекті стратегії ТО.

Інженерні методики розрахунку K_r , $K_{ог}(\tau)$, C_E при різних T засновані на використанні досить загального припущення про те, що час безвідмовної роботи і час ремонту ТСс підкоряються розподілам Ерланга [12].

За допомогою такої моделі можуть бути знайдені:

а) оптимальні за критерієм максимуму K_r або $K_{ог}(\tau)$, або мінімуму C_E періодичності технічного обслуговування технічних систем – у разі застосування стратегії ТО з постійними обсягами і змінними періодами;

б) оптимальний за тими самими критеріями обсяг технічного обслуговування технічних систем – у разі застосування для їх обслуговування стратегій із постійними або змінними періодами ТО та змінними обсягами.

Для розв'язання задачі другого рівня можна застосовувати модель, засновану на використанні апарату локально збалансованих мереж масового обслуговування, стаціонарні ймовірності станів яких мають мультиплікативну форму [13, 14].

Парк технічних систем, що складається із K зразків, обслуговують N органів ТОР. До складу кожного органу входить P_n , $n = \overline{1, N}$ бригад. Інтенсивність обслуговування заявок у n -му органі визначається

$$\mu_n = \min(\ell_n, P_n) \left[\bar{T} + \frac{1}{\mu_0} \right]^{-1}, \quad (4)$$

де ℓ_n – сумарна кількість заявок у n -му органі; \bar{T} – середній час, що витрачається на пересування між елементами системи, який визначається за алгоритмом функціонування СТОР; μ_0 – середній час, що витрачається на виконання операцій з обслуговування або ремонту.

Описані парк ТСс і СТОР можуть бути наведені у вигляді замкнутої неоднорідної мережі масового обслуговування [13], що складається з $M = R + N$ систем масового обслуговування (СМО), де СМО $_m$, $m = \overline{1, R}$ описують процеси появи заявок на ТОР, а інші N СМО імітують процеси функціонування ОТОР щодо обслуговування цих заявок. Рух заявок у мережі та розподіл зон обслуговування визначаються матрицею $P = \|P_{ji}\|$, $j, i = \overline{1, M}$, де P_{ji} – ймовірність надходження заявок зі СМО $_j$ у СМО $_i$, а $\sum_{j=1}^M P_{ji} = 1$, $i = \overline{1, M}$.

Стан такої мережі масового обслуговування визначається матрицею

$$n_{**}^{(R)} = (n_{1*}^{(R)}, \dots, n_{m*}^{(R)}, \dots, n_{M*}^{(R)}), \quad (5)$$

де $n_{m*}^{(R)} = (n_{m1}, \dots, n_{mR})$; (6)

R – кількість типів зразків ТСс, що розрізняються функціональним призначенням і параметрами надійності; n_{mr} – кількість заявок класу r , що знаходяться у СМО $_m$.

Ймовірність $P(n_{**}^{(R)})$ того, що мережа масового обслуговування знаходиться у стані $n_{**}^{(R)}$, у стаціонарному режимі визначається в такий спосіб [13]:

$$P(n_{**}^{(R)}) = G^{-1} \prod_{m=1}^M f_m(n_{m*}), \quad (7)$$

де $G = \sum_{\varphi} G^{-1} \prod_{m=1}^M f_m(n_{m*})$ – константа, що нормалізує, а φ – множина всіх можливих станів мережі

масового обслуговування. У функції $f_m(n_{m*})$ визначається залежно від вибраної дисципліни обслуговування, характеристик органу обслуговування та характеристик потоку заявок на обслуговування.

Знання величини $P(n_{**}^{(R)})$ дозволяє одержати значення необхідних показників якості, зокрема, коефіцієнта готовності, середнього часу відновлення та інших при різних значеннях параметрів СТОР.

З вибором варіантів топології СТОР має вирішуватися завдання оптимізації кількості, місця розташування органів ТОР і складу зразків ТСс, що обслуговуються, у кожній зоні ТОР парку технічних систем за критерієм мінімуму середнього часу транспортування (переїзду) у кожній зоні [2, 3, 6].

Декомпозицію парку ТСс на зони ТОР можна здійснити, використовуючи алгоритм, запропонований у [3, 15], або алгоритм лінійного регресійного групування [16].

У разі виконання умови $t_{tr\ ji} < t_{tr\ доп}$, де $t_{tr\ ji}$ – час транспортування (переїзду) між i -м і j -м місцями зосередження зразків ТСс, що вимагають ТО або ремонту (далі – вузлами), а $t_{tr\ доп}$ – гранично допустимий час транспортування (переїзду) між вузлами, здійснюється визначення місця розташування органу ТОР. В іншому випадку здійснюється декомпозиція парку ТСс на зони ТОР.

Орган ТОР розміщується в ℓ -му вузлі, якщо

$$\ell = \arg \min_{\ell \in B_m} \sum_{j \in B_m} K_j t_{\text{TP } \omega}, \quad (8)$$

де B_m – множина номерів зразків ТСС, що входять у m -й вузол; K_j – ваговий коефіцієнт, що враховує частоту транспортувань (переїздів) до j -го вузла:

$$K_j = T_e \left(\frac{\alpha}{\tau_{oj}} + \frac{1}{T_{\text{TO } j}} \right), \quad (9)$$

де T_e – період експлуатації; τ_{oj} – середній наробіток на відмову зразків ТСС j -го вузла; $T_{\text{TO } j}$ – період ТО зразків ТСС j -го вузла; α – частка відмов, що усуваються штатним обслуговуючим персоналом зразків ТСС.

Процес декомпозиції та визначення місць розташування органів ТОР здійснюється доти, поки в кожній зоні не залишиться по одному вузлі.

Для кожного варіанта побудови СТОР здійснюється розподіл завдань із ТОР зразків ТСС для того, щоб оптимізувати показники готовності парку ТСС і витрати на збирання, обробку і передачу інформації про ТСС зразків технічних систем. Ця задача прийнятно формулюється як задача булевого програмування за обмежень, що накладаються на пропускну здатність каналів ТОР, на достовірність інформації, необхідної для ухвалення рішення про значення параметрів ТОР, на час обробки інформації, обчислювальні ресурси. Обмеження накладаються як за рівнями СТОР, так і на всю систему.

Розв'язанням задачі третього рівня здійснюється вибір найкращого (раціонального) варіанта побудови й функціонування СТОР із множини U альтернативних варіантів, які характеризуються своїм набором параметрів. Цей вибір здійснюється на основі низки критеріїв, сформованих як окремо при розв'язанні описаних вище задач кожного рівня, так і для системи в цілому. Основними системними показниками є наведені витрати на побудову й функціонування СТОР. Ці витрати визначаються зі співвідношення

$$C = E_H C_K + C_{\text{БР}} + C_E + C_{\text{ТР}} + C_{\text{інф}}, \quad (10)$$

де $E_H = 0,15$ – нормативний коефіцієнт порівняльної ефективності капітальних вкладень.

Складові сумарних витрат визначаються в такий спосіб:

$$C_K = \sum_{n=1}^N C_{\text{КВ } n}, \quad (11)$$

де $C_{\text{КВ } n}$ – наведені капітальні витрати на побудову n -го органу ТОР;

$$C_{\text{БР}} = \sum_{n=1}^N \sum_{j=1}^{P_n} C_{\text{БР } nj}, \quad (12)$$

де $C_{\text{БР } nj}$ – наведені витрати на утримання j -ї бригади обслуговуючого персоналу в n -му ОТОР;

$$C_E = \sum_{m=1}^M \sum_{j \in B_m} C_{E \text{ } kj}, \quad (13)$$

де $C_{E \text{ } kj}$ – експлуатаційні витрати на j -й зразок ТСС, що входить до i -ї зони ТОР, $m = \overline{1(1)}$; M ; M – кількість зон ТОР;

$$C_{\text{ТР}} = C_{\text{ТАР}} \left[\sum_{m=1}^K \left(\frac{\sum_{i \in B_m} \sum_{j \in B_m} K_j L_{ij}}{R_m} \right) \right], \quad (14)$$

де $C_{\text{ТАР}}$ – вартість (тарифи) на транспортування; R_m – кількість зразків ТСС, що входять до m -ї зони; L_{ij} – відстань між i -м і j -м вузлами B_m -ї зони ТОР;

$$C_{\text{інф}} = \sum_{z=1}^Z \sum_{n=1}^N \sum_{j=1}^S \left[X_{\text{ін } j} \left(C_{\text{н } \text{ін } j} Y_{\text{ін } j} + C_{\text{н } \text{ін } j} (1 - Y_{\text{ін } j}) \right) \right], \quad (15)$$

де $C_{\text{н } \text{ін } j}$ – витрати на обробку інформації, необхідної для розв'язання i -ї задачі на j -му елементі n -го рівня;

$C_{n \ln j}$ – витрати на передачу (прийом) інформації, необхідної для розв’язання z -ї задачі на j -му елементі n -го рівня; $X_{ln j} = \{0, 1\}$ – булева змінна, яка відповідає стану розв’язання i -ї задачі на j -му елементі n -го рівня; $Y_{ln j} = \{0, 1\}$ – булева змінна, яка відповідає стану наявності інформації, необхідної для розв’язання i -ї задачі на j -му елементі n -го рівня; $z = \overline{1, (1) Z}$, Z – кількість задач.

Оскільки всі розглянуті параметри СТОР набувають дискретних значень, задача вибору варіанта побудови й функціонування СТОР зводиться до багатокритеріальної задачі дискретної оптимізації. Під погодженим рішенням розуміється таке ефективне рішення, за якого мінімізується максимально на множині показників якості відносне відхилення оптимуму, узятє з відповідною вагою [17]:

$$U_K = \arg \min \max \rho_i \omega_i(Y), \quad (16)$$

де ρ_i – вагові коефіцієнти щодо важливості, $\rho_i < \sum_{i=1}^I \rho_i = 1$; I – множина критеріїв; $\omega_i(Y)$ – відносне відхилення від оптимумів показників якості функціонування

$$\omega_i(Y) = \frac{Y_i(\cdot) - Y_i^0}{Y_i^* - Y_i^0}, \quad (17)$$

де Y_i^0 , Y_i^* – відповідно оптимальне і найгірше значення i -го показника на множині ефективних рішень.

У випадку неунікності рішення (17) до множини еквівалентних у сенсі (17) рішень може бути застосований додатковий критерій

$$\sum \rho_i \omega_i(Y) \rightarrow \min. \quad (18)$$

На основі розглянутого ієрархічного комплексу задач розроблено інженерні методики і пакети прикладних програм, що дозволяють визначати параметри СТОР парку ТСС.

Висновки

Запропонована методика розв’язання задачі визначення параметрів СТОР, яка ґрунтується на декомпозиції шуканої задачі на підзадачі трьох рівнів, що дозволяє послідовно розв’язувати задачі визначення топологічної та функціональної структур СТОР з визначенням зон обслуговування ТСС і розміщення в них органів ТОР. При цьому визначається розосередження парку техніки, що потребує обслуговування, за зонами обслуговування.

Список використаних джерел

1. Барзилович, Е. Ю. Модели технического обслуживания сложных систем [Текст] : учеб. пособие / Е. Ю. Барзилович. – Москва : Высш. школа, 1982. – 231 с.
2. Морозов, О. О. Синтез складних організаційно-технічних систем [Текст] / О. О. Морозов // Інформаційно-управляючі системи на залізничному транспорті. – 2001. – Вип. 3. – С. 67–69.
3. Морозов, О. О. Алгоритм формування системи виконавчих елементів для обслуговування територіально розосереджених об’єктів [Текст] / О. О. Морозов // Системи обробки інформації. – 2017. – Вип. 3 (149). – С. 28–32.
4. Цвиркун, А. Д. Структура многоуровневых и крупномасштабных систем: Синтез и планирование развития [Текст] / А. Д. Цвиркун, В. К. Акинфеев // РАН, Ин-т проблем управления. – Москва : Наука, 1993. – 157 с.
5. Петров, Э. Г. Территориально распределенные системы обслуживания [Текст] / Э. Г. Петров, В. П. Пискалова, В. В. Бескорвайный. – Киев : Техника, 1992. – 208 с.
6. Науково-методичні основи створення систем технічного обслуговування та ремонту озброєння і військової техніки угруповань Національної гвардії України [Текст]: монографія / О. О. Морозов, Л. В. Морозова. – Харків : Нац. академія НГУ, 2015. – 174 с.

7. Андрієвський, А. П. Методика обґрунтування вимог до сил і засобів системи відновлення автомобільної техніки [Текст] / А. П. Андрієвський // Збірник наукових праць. – № 2 (40). – Київ : ЦНДІ ЗС України, 2007. – С. 115–125.
8. Шуєнкін, В. О. Методика визначення раціонального складу ремонтних органів з урахуванням ресурсних обмежень на їх створення [Текст] / В. О. Шуєнкін, І. С. Ішутін // Наука і оборона. – 2009. – № 3. – С. 57–62.
9. Денисов, А. А. Теория больших систем управления [Текст] / А. А. Денисов, Д. Н. Колесников. – Л. : Энергоиздат, 1982. – 288 с.
10. Дубов, Ю. А. Многокритериальные модели формирования и выбора вариантов системы [Текст] / Ю. А. Дубов, С. И. Травкин, В. М. Якимец. – Москва : Наука, 1986. – 221 с.
11. Захаренко, Г. П. Распределение требований к коэффициенту оперативной готовности по элементам двухполюсной сети передачи данных [Текст] / Г. П. Захаренко, В. А. Зеленцов, С. Е. Близнюк // Техника средств связи, сер. ТПС-1999, вып. 5. – С. 85–91.
12. Гнеденко, Б. В. Введение в теорию массового обслуживания [Текст] / Б. В. Гнеденко, И. Н. Коваленко. - 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Наука, 1987. – 336 с.
13. Жожикашвили, В. А. Сети массового обслуживания. Теория и применение к сетям ЭВМ [Текст] / В. А. Жодикашвили, В. М. Вишневикий. – Москва : Радио и связь, 1999. – 192 с.
14. Гагин, А. А. Расчет коэффициента готовности сложной системы из неоднородных элементов при ограниченном восстановлении [Текст] / А. А. Гагин, Т. С. Нарышкина // Изв. АН РФ, ТК. – 1999. – № 4. – С. 99–106.
15. Морозов, О. О. Формування системи ремонтних органів для відновлення територіально розосередженої техніки [Текст] / О. О. Морозов // Збірник наукових праць Національної академії Національної гвардії України. – 2016. – Вип. 2. – С. 49–55.
16. Агаян, А. А. Оптимизация структур цифровых сетей связи и технического обслуживания [Текст] / А. А. Агаян, Г. П. Захаренко Ч. 1. – Москва : Радио и связь, 2001. – 45 с.
17. Волкович, В. А. Методы и алгоритмы автоматизированного проектирования сложных систем [Текст] / В. А. Волкович, А. Ф. Волошин и др. – Київ : Наук. думка., 2000. – 216 с.

Стаття надійшла до редакції 29.04.2018 р.

УДК 681.3

А. А. Морозов

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ПАРКА ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Рассматривается методика определения параметров системы технического обслуживания и ремонта территориально рассредоточенного парка технических систем. Алгоритм решения искомой задачи базируется на технико-экономическом подходе и трехэтапной процедуре, что позволяет решать задачи большой размерности.

К л ю ч е в ы е с л о в а: *техническое обслуживание и ремонт, система технического обслуживания и ремонта, технические системы, зоны обслуживания, территориально рассредоточенный парк технических систем, орган технического обслуживания и ремонта*

UDC 681.3

О. О. Morozov

**METHOD OF PARAMETERS DETERMINING OF THE SYSTEM OF TECHNICAL SERVICE
AND REPAIR OF THE PARK OF TECHNICAL SYSTEMS**

The article suggests a technique for parameters determining of a maintenance and repair system (MRS) for a geographically dispersed park of technical systems (PTS).

The solutions of problems of this class assume the formation, as a rule, of the topological and functional structures of the system. In addition, for geographically dispersed fleet of vehicles, it is necessary to solve the problem of distributing equipment that requires maintenance to service areas. The solution of the problem in such a formulation requires the consideration of a large number of heterogeneous factors (variables in the formalized representation of the problem). And this leads to a large dimension of the problem, which makes it difficult to obtain acceptable solutions by known methods. To overcome these difficulties, the article proposes a technique for solving such problems based on its decomposition into three problems (tasks of three levels) - the task of forming requests for maintenance, the task of forming the topological structure of the system and the task of forming the functional structure of MRS.

To solve each of the problems, its formulation and methods of solution are proposed. At the first level, it is advisable to simulate the processes of changing the technical state of the PTS samples and forming applications for its servicing. Applications must be formed in such a way as to optimize the reliability (availability) of technical systems and (or) the costs of their operation.

At the second level, taking into account the existing applications, it is necessary to model the functioning of the MRS elements, optimize the PTS readiness indicators and operational costs by selecting the MRS topology and the operational strategies of its elements, and by optimally distributing the maintenance and repair tasks according to the levels and elements of the system.

At the third level, it is necessary to calculate and minimize the capital costs for the construction of the MRS and operating costs for various options for its construction, various ways of distributing the maintenance tasks and repairing the PTS by levels and elements of the system to make decisions about the meaning of the maintenance and repair parameters.

The proposed methodology makes it possible to obtain acceptable solutions for large-dimensional problems and heterogeneous factors (task solution variables).

***К е у в о р д s:** maintenance and repair, maintenance and repair system, technical systems, service areas, geographically dispersed park of technical systems, maintenance and repair body*

Морозов Александр Александрович – доктор технічних наук, професор, перший заступник начальника Національної академії Національної гвардії України з навчально-методичної та наукової роботи.